

KAMEN ZA OBNOVU STAROG MOSTA U MOSTARU

Hazim Hrvatović*, Izudin Đulović
Zavod za geologiju Sarajevo, Ustanička 11 Ilidža

REZIME

Na jugoistoku Mostara, na lokalitetu Mukoša, istražnim bušenjem i geološkim kartiranjem utvrđeni su slatkovodni gornjomiocenski sedimenti predstavljeni sa stijenama tipa grainstone, packstone i mudstone. Na ovom lokalitetu vršena je eksploatacija kamena, za vrijeme otomanskog perioda, koji je korišten za izgradnju Starog Mosta u Mostaru. Kamen za obnovu Starog Mosta, poznat kao Tenelija, određen je kao grainstone nastao u otvorenom jezeru prije 6-7 miliona godina.

Tenelija je izgradjena od zrna (klasta) koji su mehanički transportovani prije sedimentacije. Karbonatna zrna su porijeklom od starijih (kreda, paleocen, eocen) krečnjaka lociranih u okolici sedimentacionog basena. Zrna su zaobljena i imaju oblik ooida. U procesu dijagenese stijena je zadobila takav oblik pakovanja zrna da joj dalo posebne karakteristike poroznosti i permabilnosti koji su bili odlučujući za izbor ovog kamena za gradnju mosta. Kamen Tenelija (grainstone) ima romboedarsko pakovanje, 25 % poroznost i 10,5 % permeabilnost. Kontakt medju zrnima je tangencijalni (zrno na zrno).

Za obnovu Starog Mosta izrezano je 1088 elemenata luka, zida, vijenca i ograde ukupne zapremine 360 m³.

Ključne riječi: Old Bridge, grainstone, mudstone, packing. Tenelija, Miljevina

SUMMARY

This paper comprises methodology the identification of all historical (old) stones from the structure of Old Bridge Mostar. Building materials (stones) for the use in the reconstruction of the bridge were proposed after testing of the ancient and new stones.

Stone which is used for reconstruction of the Old Bridge in Mostar is oolite limestones (**Grainstone**) -**Tenelija**.

Tenelija is composed in part of grains (clasts) which are mechanical transported before deposition. Carbonate clast are derived from older limestones in land sources located outside the depositional basin. They are called extraclasts. Extraclasts are coated carbonate grains which name are ooids. Carbonate rock formed mainly of ooids are called oolites. Orientation and ooids packing in turn control such physical properties of **Tenelija** stone as bulk density, porosity and permeability.

Packing strongly affects the bulk density of the **Tenelija** as well as their porosity and permeability. **Tenelija** stone have rhombohedrally packed whereas the porosity is 25 %. Contact between ooids is tangential (or point contacts) and

concavoconvex (appearing as a curved line in the plane of a thin section). The **Tenelija** stone are commonly in continuous grain-to grain contact when considered in three dimensions, and thus they form a grain-supported fabric.

Key words: Old bridge, ancient stone, new stone, laboratory testing, Mostar

1. UVOD

Od kada se izvio luk mosta (kamene ćuprije) preko Neretve, mnogi pjesnici, pisci, narodni pripovjedači i drugi, upoređivali su ga sa lijepom ženskom obrvom a vodu ispod njega sa bojom oka, ali o kamenu, poznatim pod imenom Tenelija, ni riječi.

Autori ovog rada su kroz geološka istraživanja, superviziju na vađenju i rezanju kamena za obnovu Starog Mosta u Mostaru, prikupili značajne podatke koji omogućuju detaljniji prikaz osobina ovog kamena.

U radu su prikazani podaci gdje se kamen vadi, kakvog je porijekla, koja je vrsta materijala bila osnov za njegovo stvaranje, koja je vrsta stijene, iz kojih minerala je izgrađen. Prikazani su podaci o strukturi i teksturi kamena, te njegovim tehničkim osobinama.

2. MOST

Stvaranje i cjelokupni razvoj grada Mostara vezuje se za prostor oko starog, nadaleko poznatog mosta preko Neretve. Po dosadašnjim saznanjima na mjestu drvenog mosta, sagrađen je kameni most 1566. godine, za vrijeme vladavine Sulejmana Kanunije (1520-1566). Stari Most bio je uvijek središte grada.

Prvi veliki ispit most je imao 1563 godine kada je Mostar zadesio snažan zemljotres. Bila je to prva potvrda za priče o posebnom kamenu i načinu gradnje mosta. Iz tog vremena poseban esnaf u Mostaru bili su klesari i trgovci kamena. Klesari su se isticali u zidanju, kladrmananju sokaka i avlija, a imali su uvijek posla jer je glavni materijal za građenje bila tenelija, miljevina i kamen «živac». Često su i kućni krovovi prekriveni pločastim kamenom, što se radi i danas.

Pisanih dokumenata o klesarima je veoma malo, međutim o njihovim djelima govore brojne građevine u Mostaru kao što je Stari most, džamije, šadrvani, česme i drugo.

Evlija Čelebija, poznati Otomanski putopisac, u svom čuvenom putopisu tvrdi da je most izgrađen po naredbama Sulejmana Veličanstvenog. Evlija također navodi da su postojale vodovodne cijevi unutar mosta koje su instalirane od strane majstora. Turski historičari otkrili su dokument u kojem se jasno navodi da je most izgradio Hajrudin, Sinanov učenik.

Most u Mostaru je u potpunosti uništen bombardovanjem HVO-a 1993 godine. Iz rijeke Neretve izvadjeni su dijelovi Starog Mosta koji predstavljaju vrijedne elemente velikog drevnog spomenika, i interesantan primjer stare tehnike slaganja kamenja svoda kod mostova.

3. LEZIŠTE KAMENA ZA OBNOVU MOSTA

Na jugoistoku mostarske doline, na lokalitetu Mukoša, nalazi se ležište kamena (Sl. 1) od kojeg je građen Stari most za vrijeme otomanskog perioda. Na slici 2 vidi se dio ležišta gdje se vadio kamen koji se koristio za obnovu mosta u periodu 2000-2004. Istražnim radovima određene su jezerske formacije gornjomiocenske starosti. Tipične facije u nalazištu prikazane su na blok dijagramu (sl. 3) i geološkom stubu (sl. 4.).

Geološkim ispitivanjima utvrđeno je da su formacije u ležištu nastale u otvorenom jezeru koje se karakteriše vanjskim prinosom vode i relativno stabilnim priobalnim područjem. Na uslove sedimentacije u prvom redu su uticali klimatski faktori od kojih zavisi nivo vode u jezeru, aktivnost talasa, evaporacija i precipitacija. Sedimentacija zavisi i od fizičkih faktora kao što su vjetar, tok rijeke, atmosferska toplota, površinski pritisak i gravitacija. Sedimenti u ležištu Mukoša dobro su uslojeni. Pružanje slojeva je SZ – JI sa padom ka jugozapadu (250/24) pod uglom 22 - 24°.

3. 1. Geološki stub ležišta Mukoša odozgo na niže je slijedeći:

U krovini jezerskih sedimenata nalaze se sedimenti fluvijalnog sistema (riječna terasa) debljine oko 1,8 m. Ispod riječne terase dolazi sloj miljevine debljine 0,5 m, zatim tenelije 0,3 m, miljevine – 0,96 m, tenelije – 0,41 m, miljevine 0,84, tenelije – 0,25 m, miljevine – 1,65 m, tenelije – 0,33 m, miljevine 0,36 m, tenelije – 0,40 m, miljevine – 0,95 m, a zatim dolazi sloj tenelije debljine 1,1 do 2,2 m. **Ovaj sloj po svojim osobinama, predstavlja najkvalitetniji kamen za most.** U ovom složenom sloju se nalazi obično 3 do 7 proslojaka miljevine debljine 1 do 10 cm, u različitom nivou sloja, nekad je to u donjem dijelu sloja, a nekad u cijelom sloju. Broj proslojaka je vrlo različit na međusobno malim rastojanjima, na nekoliko metara. Dalje slijedi miljevina debljine više od 8 m.

Iz navedenog je jasno da se ležište Mukoša karakteriše malim debljinama ciklusa sedimentacije ili sukcesije od nekoliko cm do 1 – 2 m. Slojevi sa tenelijom označavaju detritični ciklus sa neravnim kontaktom prema miljevini. Ovi ciklusi se mogu interpretirati kao male regresivne jedinice u promjenjenim hidrološkim uslovima. Ciklusi u ležištu ukazuju da je klima bila topla s ciklusima padanja kiša što je mijenjalo nivo vode, a time i sedimentaciju.

Tektonska ispitivanja ležišta bila su usmjerena na definisanje ispucalosti kamena kao jednom od najvažnijih kriterijuma za izbor baznih blokova za obnovu Starog mosta. Penetrativni elementi sklopa u ležištu su slojevitost i pukotine. Orijentacija slojeva u ležištu je homogena sa elementima 250/17-26°.



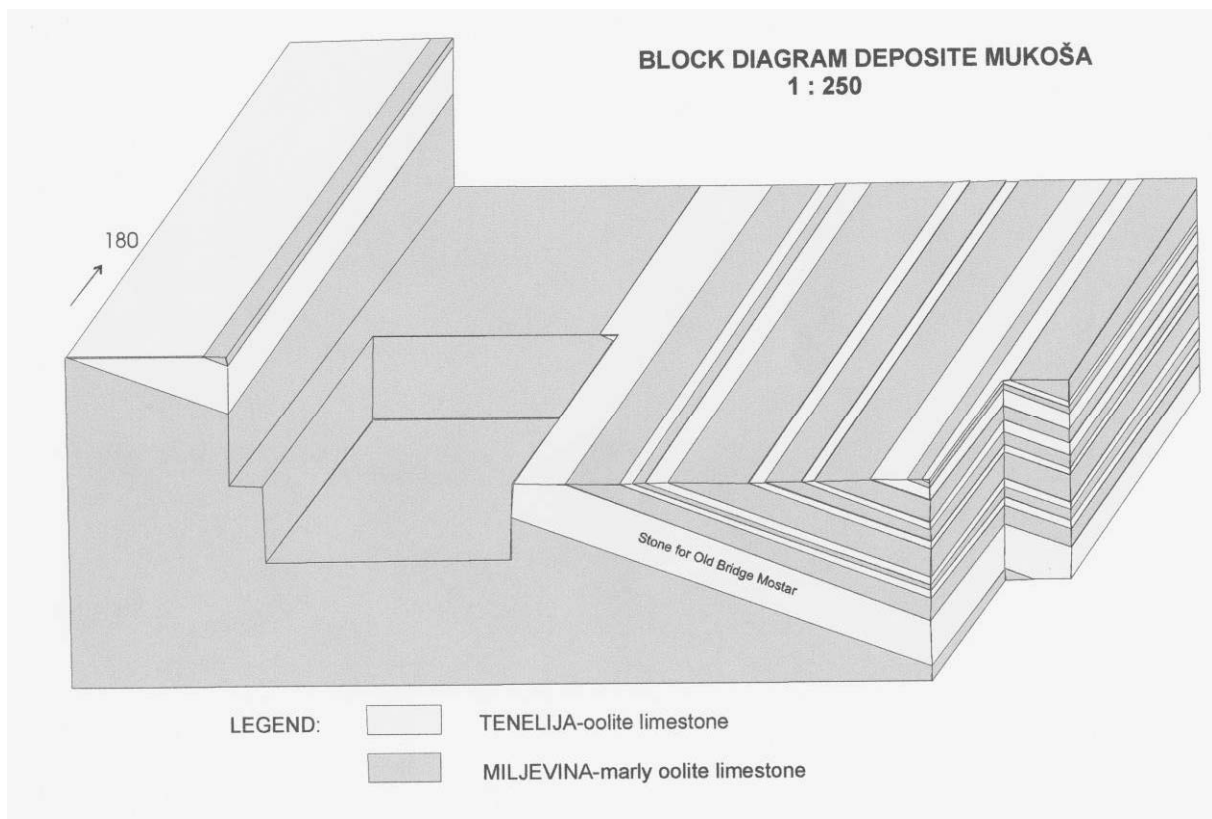
733304 (R00448) 9-94

○ Sl. 1. Pozicija ležišta kamena za obnovu Starog Mosta u Mostaru

Terenskim ispitivanjem utvrđene su pukotine smicanja i relaksacione pukotine. Obično su to pukotine koje imaju postojanost po pružanju i pokazuju tragove kretanja do nekoliko cm. Međusobno rastojanje ovih pukotina je 1 – 2 m i u dijelovima ležišta gdje su izraženije kamen je slabijeg kvaliteta. Relaksacione pukotine nastaju u ravnima upravnim na osu maksimalnog stresa kada njegovo djelovanje prestane. Pukotine su zbijene i neravnih su ploha. Navedene pukotine su znatno deformisale ležište, što za posljedicu ima smanjenje iskorištenosti baznih blokova.



Sl. 2. Eksploataciona etaža na ležištu kamena (svijetlo - tenelija) za obnovu Starog Mosta



Sl. 3. Blok dijagram ležišta tenelije «Mukoša»

Age(Starost)	Thickness (debljine) - m		Formations (Formacije)	sedimentary environments (okoliš sedimentacije)
Quaternary Kvarter	1,8	oooooooooooooooooooo oooooooooooooooooooo oooooooooooooooooooo oooooooooooooooooooo	River terrace Riječna terasa	Alluvial fans Aluvijalna ravnica
Gornji Miocen - Late Miocene	0,5	~~~~~	Miljevina	Small-scale cycles interpreted as small-scale regressive units that formed in a hydrologically conditions lake Mali ciklusi sedimentacije interpretirani kao male regreseivne jedinice kao rezultat promjene hidroloških uslova u jezeru.
	0,3	.....	Tenelija
	0,96	~~~~~	Miljevina	
	0,41	.....	Tenelija
	0,84	~~~~~	Miljevina	
	0,25	.....	Tenelija
	1,65	~~~~~	Miljevina	
	0,33	.....	Tenelija
	0,36	~~~~~	Miljevina	
	0,40	.....	Tenelija
	0,95	~~~~~	Miljevina	
	2,20	level for exploitation nivo koji se koristi za obnovu mosta Tenelija beds layered with Miljevina beds (tenelija sa proslojcima miljevine)		(Shoreline) Wave base (Baza talasa)
> 8,00	~~~~~	Miljevina	Lacustrine-basinal sediments Jezerski basenski sedimenti	

Tenelija – Grainstone
 Miljevina – Mudstone i Packstone

Sl. 4. Geološki stub ležišta (Hrvatović, Đulović, 2003)

3. 2. Petrografska ispitivanja kamena Tenelija

Mikroskopskim i x-ray ispitivanjima po Dunham klasifikaciji Tenelija je definisana kao **PACKSTONE, MUDSTONE I GRAINSTONE**

Kamen za most «Tenelija» je stijena izgrađena od ooida – zaobljenih zrna kalcita, međusobno slijepljenih, a međuprostor ispunjen kalcitom ili je prazan prostor. Zbog navedenog stijena je nazvana oolitični krečnjak. Ooidi su sferični i rjeđe elipsoidni. Ooidne forme ukazuju na snažna kretanja vode i zasićenost kalcijum karbonatom.

Ooidi sadrže u unutrašnjoj strukturi koncentrične ljuske, a neki ooidi imaju i radialnu internu strukturu. Ooidi u ležištu imaju jednu ili više ljuski. Nestali su u plitkom obodu (shoreline) – priobalnom području u jezeru. Po cijelosti oblika to su potpuni ooidi uzajamo utisnuti – negdje deformisani. Predstavljaju uglavnom tangencijalne ooidne koje su nastali u tajdalnim deltama. Ovi ooidi ukazuju na postanak u visokoenergetskoj vodenoj sredini – zoni talasanja.

Packstone-krečnjak koji se sastoji od karbonatnih zrna koja imaju zrnску potporu i karbonatnim muljem u intergranularnim porama.

Grainstone je krečnjak bez karbonatnog mulja, izgrađen od zrna s međusobnom potporom a u intergranularnim porama je izmučen karbonatni cement.

Mudstone-krečnjak sastavljen od karbonatnog mulja i sadrži manje od 10 % zrna veličine do 2 mm.

Glavni komponenta Tenelije su alohemske komponente mikrita i spari kalcita.

-**Alohemijske** komponente su karbonatnog porijekla, koje predstavljaju specifičnu strukturu koja je porijeklom iz sedimentnog basena,

-**Mikristki kalcit** je predstavljen karbonatnim zrnima veličine 5 μ manje. Porijekom su iz erodiranih čvrstih sedimentnih stijena sa oboda jezera.

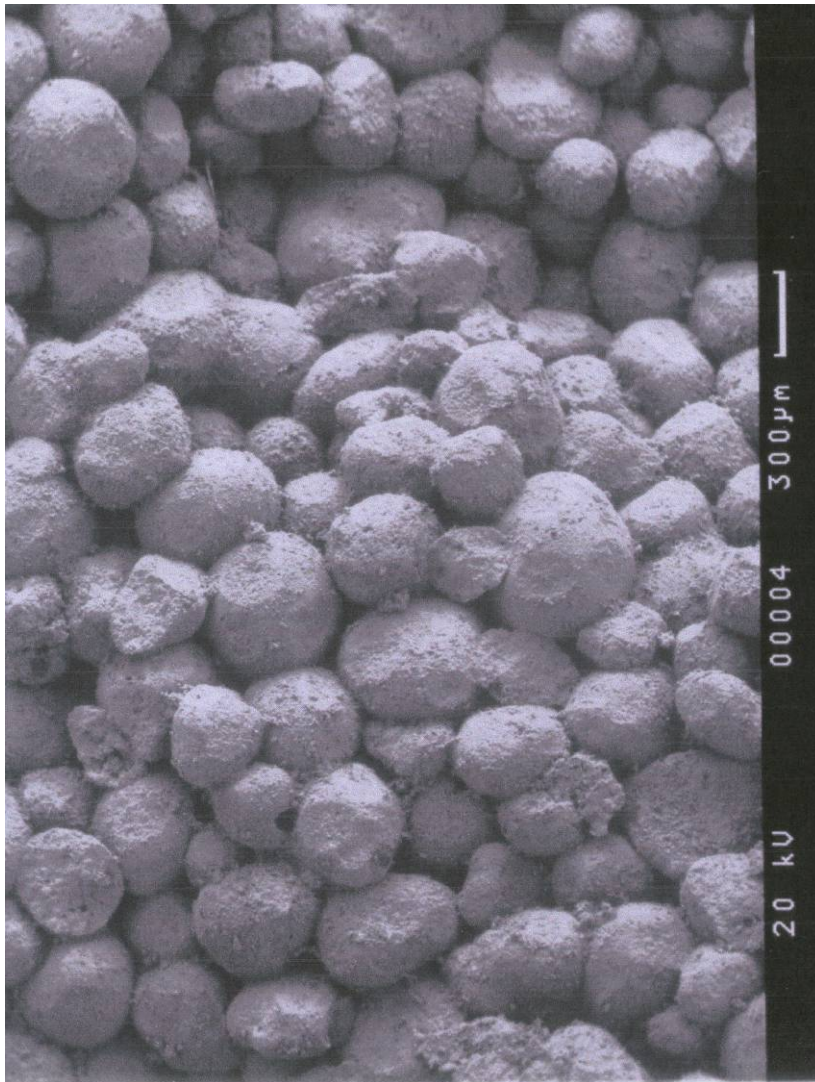
-**Spari kalcit** obavlja kalcitska zrna prečnika više od 5 μ . Takođe popunjava pore u sedimentu.

Glavna komponenta tenelije su ooliti. Ooliti su sferični ili elipsoidni prečnika 2 mm i manje. Koncentrične strukture su loše razvijene. Gubitak originalne strukture je došlo i zbog transformacije primarnog aragonita u kalcit. Sferične strukture nisu jasno vidljive. To su porozne stijene sa varijacijom u veličini zrna, dobrom poroznošću s hemijskom transformacijom matriksa zahvaljujući uslovima sedimentacije u jezeru.

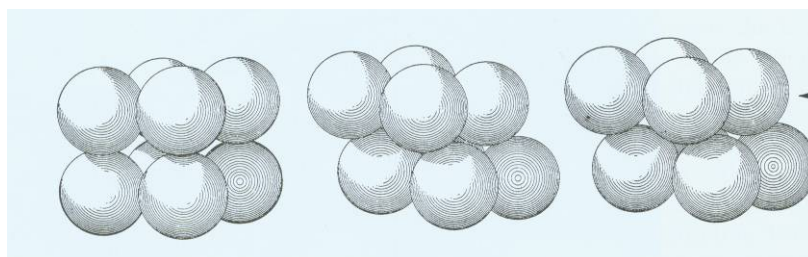
Pakovanje oolita u kamenu **tenelija** je posebno interesantno navesti, jer ono utiče na gustinu poroznost i permeabilnost stijene. Efekti pakovanja prikazani su na slikama 5, 6, 7, i 8.

Tenelija ima romboedarsko pakovanje zbog čega daje poroznost od 25 %. Kontakti medju zrnima mogu biti tangencijalni (A), uzdužni kontakti (B), konkavkonvexni kontakti (C) i šavni kontakt (D).

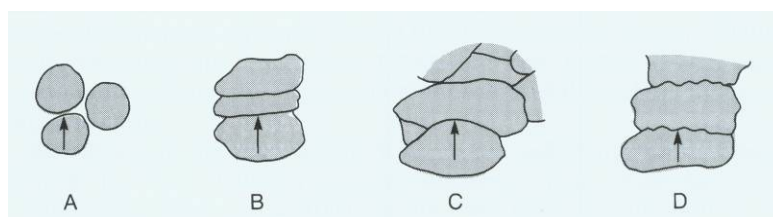
Kod miljevine (mudstone) zrna imaju muljevitú potporu.



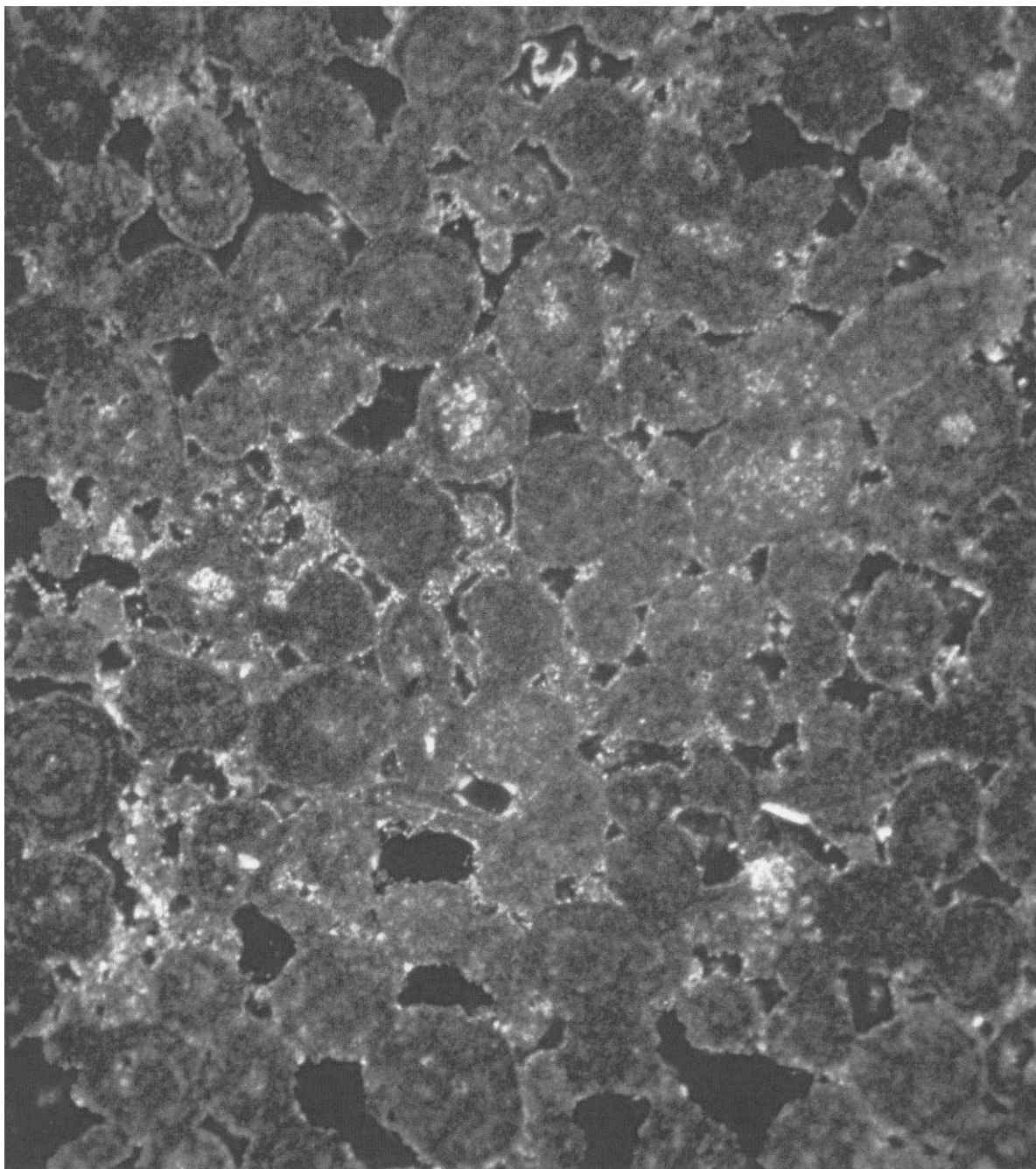
Sl. 5. Slika tenelije na elektronskom mikroskopu (LGA)



Sl. 6. Romboedarsko pakovanje zrna u kamenu teneliji



Sl. 7. Kontakti medju zrnima u kamenu tenelija



Sl. 8. Kamen tenelija (presjek oolita u kamenu tenelija) - elektronski mikroskop (LGA)

3. 3. Fizički i mehanički parametri kamena tenelija (ispitivanja izvršena u laboratorijama: LGA-Njemačka, Zavodu za saobraćaj Građevinskog fakulteta u Sarajevu, Rudarsko-geološko-gradjevinskog fakulteta u Tuzli)

- Specifična težina= $25-27 \text{ kN/m}^3$
- Zapreminska težina= $19,25 - 21 \text{ KN/m}^3$
- Upijanje vode = $9,1 \%$
- Poroznost = $23-26 \%$
- Čvrstoća na pritisak
 - u suhom stanju (vertikalno na slojeve) = $20-32 \text{ MPa}$
 - u suhom stanju(paralelno slojevima) = $18-30 \text{ MPa}$

- u vodozasićenom stanju (vertikalno na slojeve) = 26-28 MPa
- u vodozasićenom stanju (paralelno na slojeve) = 24-26 MPa
- Habanje brušenjem = 45, 57 cm³/50 cm³
- Čvrstoća na savijanje
 - vertikalno na slojeve 9,52 MPa
 - paralelno na slojeve 8,55 MPa
- Čvrstoća na smicanje u monolitu $\nu=53 - 70^{\circ}$, $c=1,5 - 3$ MPa
- Čvrstoća na smicanje tenelija na teneliju $\nu=32^{\circ}$, $c=0$
- Koeficijent permeabilnosti $1,3 \times 10^{-4}$ cm/s
- Modul deformacija $E = 15\ 000$ MPa
- Otpornost na smrzavanje 0,1 % (nije dobro otporna na mraz)
- Point load test (određivanje anizotropije)= 1,8-2,6 MPa (odgovara 20-32 MPa)
- Brzina ultrazvuka=
 - Vertikalno na slojeve -3429,56 m/s (što odgovara čvrstoći 29,86 MPa)
 - Paralelno na slojeve- 3413 m/s (što odgovara čvrstoći 26 MPa)
- Poasonov koeficijent = 0,2-0,3 (izračunat kao odnos razlike lateralne deformacije na vrhu i dnu prema longitudinalnoj deformaciji).

3. 4. Eksploatacija blokova kamena Tenelije

Za obnovu Starog Mosta u Mostaru iz ležišta Mukoša izvadjeno je 470 baznih blokova ukupne zapremine 1250 m³.

Kriteriji za ocjenu kvaliteta baznih blokova kamena bili su:

- dimenzije
- geometrija
- homogenost
- stratifikacija
- debljina slojeva tenelije
- proslojavanje sa miljevinom
- ispucalost
- mogućnost rezanja za konstruktivne elemente mosta
- kontrola ultrazvukom

Svaki blok je vizuelno pregledan, okupan, nacrtan, fotografisan, ultrazvukom premjeren i svaki ima indeks karticu (lična karta).

3. 5. Izrezani elementi za obnovu Starog Mosta

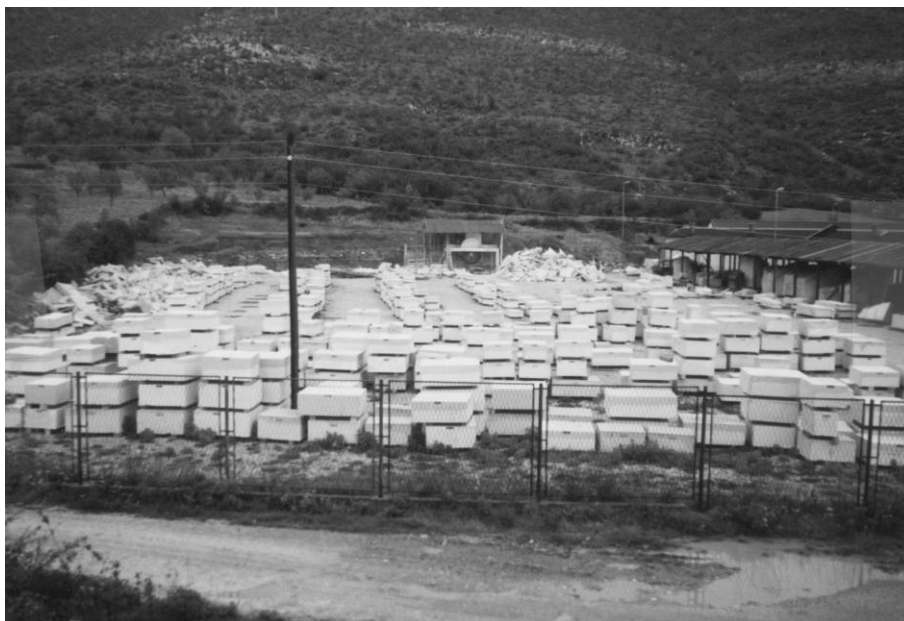
Za obnovu Starog Mosta izrezano je **1088** elemenata mosta što iznosi 360 m³, od čega je za:

Luk= 456 elemenata zapremine 202 m³.

Zid= 425 elemenata zapremine 103 m³.

Vijenac= 157 elemenata zapremine 35 m³.

Ograda= 51 elemenata zapremine 19 m³.



Sl. 9. Odloženi, izrezani elementi za obnovu Starog Mosta

ZAKLJUČAK

Kamen koji je korišten za obnovu Starog Mosta u Mostaru, poznat pod imenom «Tenelija», laboratorijskim ispitivanjima određen je kao **grainstone**. Tenelija je izgrađena od zrna (klasta) koji su mehanički transportovani prije sedimentacije. Karbonatna zrna su porijeklom od starijih (kreda, paleocen, eocen) krečnjaka lociranih u okolici sedimentacionog basena. Zrna su zaobljena i imaju oblik ooida. U procesu dijageneze stijena je zadobila takav oblik pakovanja zrna da joj dalo posebne karakteristike poroznosti i permabilnosti koji su bili odlučujući za izbor ovog kamena za gradnju mosta. Kamen Tenelija (grainstone) ima romboedarsko pakovanje, 25 % poroznost i 10,5 % permeabilnost. Kontakt među zrnima je uglavnom tangencijalni (zrno na zrno).

Ležište kamena Tenelije nalazi se, na lokalitetu Mukoša, jugoistočno od Mostara. Na ovom lokalitetu vršena je eksploatacija kamena, za vrijeme otomanskog perioda, koji je korišten za izgradnju Starog Mosta u Mostaru. Za obnovu Starog Mosta izrezano je 1088 elemenata luka, zida, vijenca i ograde ukupne zapremine 360 m³.

LITERATURA

Hrvatović, H. & Djulović, I. (2001): Elaborat o istraživanju, eksploataciji i rezanju kamena za obnovu Starog Mosta u Mostaru, Zavod za geologiju Sarajevo, 1-35.

Hrvatović, H. (2003): Geologija (postanak, struktura i dinamika Zemlje), Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-gradjevinski fakultet, str. 1-276. Tuzla.

LGA-Geotechnical Institute – Historical Bridges Group, Bayern, Report “Stone chapter” Old Bridge Mostar, p.1-156, 2000.